

# PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PAKSA

A. Walujodjati<sup>\*)</sup>

## Abstrak

Fenomena perpindahan panas berperan penting dalam beberapa persoalan industri dan lingkungan. Sebagaimana tempat penting pada produksi dan konversi energi. Tidak hanya satu penggunaan dalam tempat ini yang tidak melibatkan efek perpindahan panas dalam berbagai proses. Di dalam pembangkit tenaga listrik, baik menggunakan bahan bakar nuklir, minyak, magneto hidrodinamik atau menggunakan sumber bumi ada begitu banyak persoalan perpindahan panas yang harus dipecahkan. Adapun persoalan dalam perpindahan panas itu melalui proses konduksi, konveksi dan radiasi. Sedangkan hal yang sering terjadi suatu tantangan adalah diperlukan laju perpindahan panas semaksimal mungkin dan menjaga dalam satu kesatuan tentang ketahanan material pada lingkungan bertemperatur tinggi. Seperti halnya pada perpindahan panas secara konveksi. Perpindahan panas konveksi tergantung kepada viskositas sifat termal fluida. Hal tersebut dapat dimengerti karena viskositas mempengaruhi profil kecepatan sehingga mempengaruhi laju perpindahan energi di daerah dinding. Dalam proses perpindahan panas secara konveksi paksa yang mana alirannya disebabkan oleh beberapa cara yang berasal dari fan, pompa, blower. Seperti halnya proses perpindahan panas konveksi paksa dalam pipa dengan menggunakan blower DC.

**Kata kunci :** perpindahan panas, konveksi paksa

## Pendahuluan

Besar koefisien konveksi panas pada aliran udara dalam pipa dengan hembusan blower DC yang mana variasi temperatur secara aksial pada fluk panas permukaan konstan adalah merupakan pembagian dari fluk panas permukaan dengan selisih temperatur.

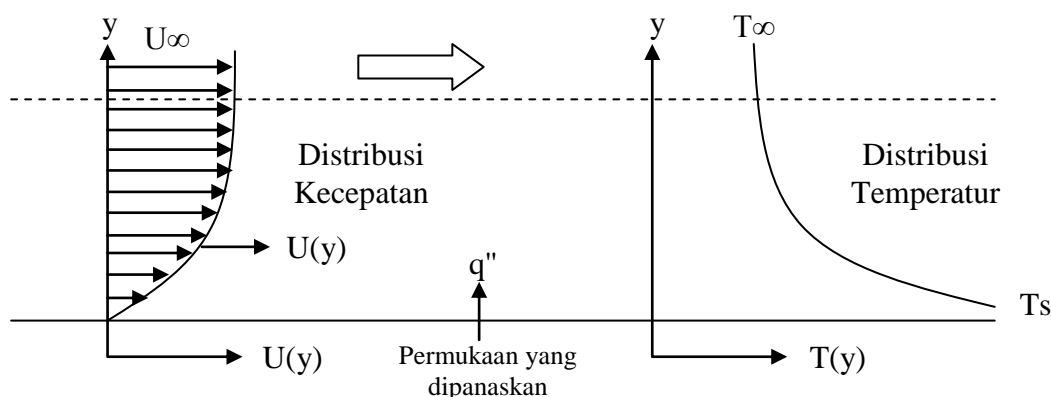
Berdasarkan uraian di atas maka akan dilakukan suatu pengujian variasi kecepatan blower dan pemanas pipa pada alat konveksi paksa yang berupa pipa yang dililit oleh kawat filamen yang mendapat hembusan dari blower DC.

## Pengertian Konveksi

Konveksi untuk menunjukkan pada perpindahan panas yang akan terjadi antara permukaan dan fluida yang bergerak ketika mereka berada pada perbedaan temperatur.

Perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme yaitu perpindahan energi sebagai akibat dari pergerakan molekular acak dan ada juga energi yang dipindahkan oleh pergerakan secara mikroskopis dari fluida.

Perpindahan panas konveksi yang terjadi antara fluida yang bergerak dan batas permukaan, ketika keduanya berada pada temperatur yang berbeda. Perhatikan pada aliran fluida di atas permukaan yang dipanaskan ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Pengembangan Lapisan Batas Dalam Perpindahan Panas Konveksi

<sup>\*)</sup> Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang  
Jl Menoreh Tengah X/22 Semarang

**Jenis Perpindahan Panas Konveksi**

Menurut keadaan alirannya perpindahan panas secara konveksi dikategorikan menjadi dua yaitu :

1. Konveksi bebas yang mana aliran fluida disebabkan oleh adanya variasi masa jenis yang selalu diikuti dengan adanya perbedaan temperatur dalam fluida.
2. Konveksi paksa yang mana aliran disebabkan oleh beberapa cara yang berasal dari luar. Misalnya dari fan, pompa, ataupun tiupan angin.

**Hal Yang Diperhatikan Dalam Perpindahan Konveksi**

Perpindahan panas konveksi sebagai perpindahan energi terjadi dalam fluida akibat dari efek kombinasi dari konduksi dan pergerakan kasar fluida. Adapun energi yang dipindahkan adalah energi dalam fluida. Begitu pula dengan konveksi sebagai pertukaran panas latent yang dihubungkan dengan perubahan fase antara keadaan cairan dan uap fluida. Dengan memperhatikan kondisi aliran fluida tanpa melihat cara perpindahan panas konveksi persamaan laju dinyatakan dalam bentuk :

$$q'' = h (T_s - T_\infty)$$

dimana  $q''$ , flux panas konveksi ( $W/m^2$ ) adalah berbanding lurus dengan perbedaan temperatur antara permukaan & fluida untuk masing-masing  $T_s$  dan  $T_\infty$  (temperatur). Sedangkan  $h$  adalah koefisien konveksi lokal atau koefisien perpindahan panas. Adapun koefisien perpindahan panas tergantung pada geometri

permukaan, cara dari pergerakan fluida dan sejumlah dari sifat termodinamika dan transport dari fluida.

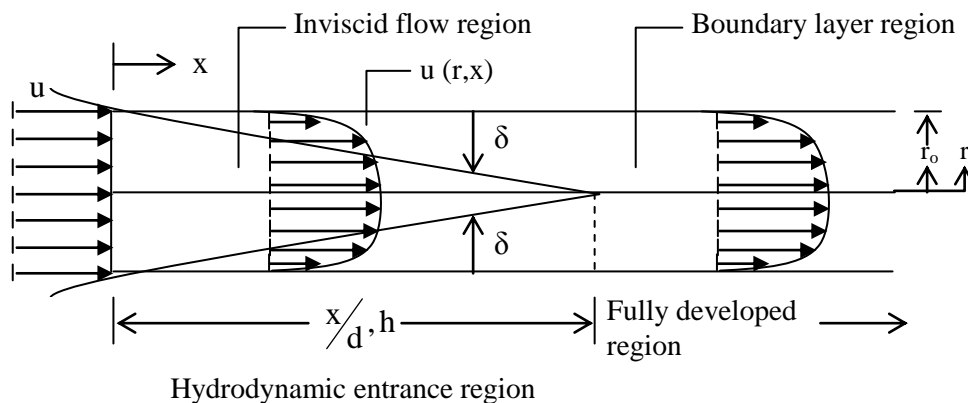
**Pengertian Konveksi Paksa**

Konveksi paksa adalah perpindahan panas yang mana dialirannya tersebut berasal dari luar, seperti dari blower atau kran dan pompa.

Konveksi paksa dalam pipa merupakan persoalan perpindahan konveksi untuk aliran dalam atau yang disebut dengan internal flow. Adapun aliran yang terjadi dalam pipa adalah fluida yang dibatasi oleh suatu permukaan. Sehingga lapisan batas tidak dapat berkembang secara bebas seperti halnya pada aliran luar.

**Kondisi Aliran**

Kondisi aliran dalam pipa bulat dengan jari-jari  $r_o$  merupakan aliran laminar dimana fluida memasuki pipa dengan kecepatan yang seragam. Fluida berkontak langsung dengan permukaan di dinding pipa dan efek viskos berperan penting sedangkan lapisan batas berkembang dengan pertambahan  $X$ . Adapun perkembangan terjadi akibat pengecilannya daerah aliran yang tidak berviskos dan menghasilkan pertemuan lapisan batas pada garis pusat pipa. Pada gambar 2.5.1  $X_{fd,h}$  merupakan jarak dari ujung masuk sampai dimana lapisan batas bertemu.  $X_{fd,h}$  ini disebut panjang masukan hidrodinamik dimana untuk  $X > X_{fd,h}$  pada seluruh luas penampang pipa dan aliran disebut pengembangan penuh (*fully developed*).



Gambar 2.5.1 Laminer, pengembangan lapisan batas hydrodinamik di dalam pipa

Bilangan Reynolds untuk aliran dalam pipa didefinisikan sebagai berikut :

$$Re = \frac{\rho U_m D}{\mu}$$

Dimana :

$\rho$  = Kerapatan fluida ( $\text{Kg/m}^3$ )

$U_m$  = Kecepatan aliran (m/s)

$D$  = Diameter tabung (m)

$\mu$  = Viskositas dinamik ( $\text{Kg/m.s}$ )

Untuk  $Re \leq 2300$  aliran tersebut biasanya laminar sedangkan bilangan Reynold pada aliran turbulen  $Re \geq 2300$ .

### Fluks Panas Permukaan Konstan

Untuk kondisi pada fluks panas permukaan konstan harus mencatat bahwa dalam menentukan laju perpindahan panas total  $q_{konv}$ ,  $q_s''$  tidak tergantung pada  $x$  (panjang penampang) sehingga :

$$q_{konv} = q_s'' (PL) \tag{1.1}$$

Dalam menentukan perbedaan temperatur masuk dan keluar dari pipa dapat menggunakan persamaan :

$$q_{konv} = \dot{m} c_p (T_{mo} - T_{mi}) \tag{1.2}$$

Untuk  $q_s''$  konstan pada persamaan

$$\frac{dT_m}{dx} = \frac{q_s'' \cdot \rho}{\dot{m} C_p} = \frac{\rho}{\dot{m} C_p} h (T_s - T_m) \tag{1.3}$$

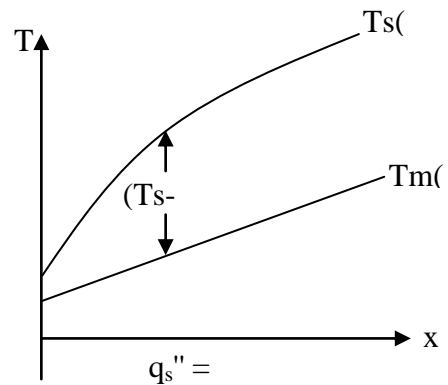
Suku sebelah kanan tidak tergantung pada  $x$  maka :

$$\frac{dT_m}{dx} = \frac{q_s'' \cdot \rho}{\dot{m} C_p} = f(x) \tag{1.4}$$

Integrasikan dari  $x = 0$  sehingga didapat :

$$T_m(x) = T_{mi} + \frac{q_s'' \cdot \rho}{\dot{m} C_p} x \quad (q_s'' = \text{konstan}) \tag{1.5}$$

Sehubungan dengan itu temperatur rata-rata harus bervariasi secara linier terhadap  $x$  ( $\rho$  memanjang pipa) variasi ini ditunjukkan pada gambar di bawah



Harga  $T_m$  adalah bertambah besar searah dengan  $x$ . Jika perpindahan panas terjadi pada permukaan ke fluida ( $T_s > T_m$ ) dan mengecil searah dengan  $x$  jika perpindahan panas terjadi dari fluida ke permukaan ( $T_s < T_m$ ).

Dari hukum Newton pendinginan, koefisien konveksi lokal adalah :

$$\dot{q} = I^2 \cdot R$$

$$q_s'' = \frac{\dot{q}}{\pi \cdot D \cdot L}$$

$$h = \frac{q_s''}{(T_s - T_m)} \tag{1.6}$$

### Temperatur Permukaan Konstan

Laju perpindahan panas total dan distribusi aksial temperatur rata-rata adalah berbeda dengan kondisi temperatur permukaan konstan (*Constant Surface Temperatur Condition*).

Untuk mendefinisikan  $\Delta T$  sebagai  $T_s - T_m$ , dapat dinyatakan sebagai,

$$\frac{dT_m}{dx} = - \frac{d(\Delta T)}{dx} = \frac{\rho}{\dot{m} C_p} h \Delta T \tag{2.1}$$

Dengan memisahkan variabel dan mengintegrasikan persamaan di atas maka kita dapatkan :

$$\ln \frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = - \frac{PL}{\dot{m} C_p} \left( \frac{1}{L} \int_0^L h dx \right) \tag{2.2}$$

Dari definisi koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata kita dapatkan persamaan :

$$\ln \frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = - \frac{PL}{\dot{m} C_p} \bar{h}_L \tag{2.3}$$

( $T_s = \text{konstan}$ )  
dimana  $\bar{h}_L$  adalah nilai rata-rata dari  $h$  untuk seluruh pipa.

Dengan menyusun sedemikian didapat persamaan :

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = \frac{T_s - T_{m,o}}{T_s - T_{m,i}} = \exp\left(-\frac{PL}{m C_p} \bar{h}\right)$$

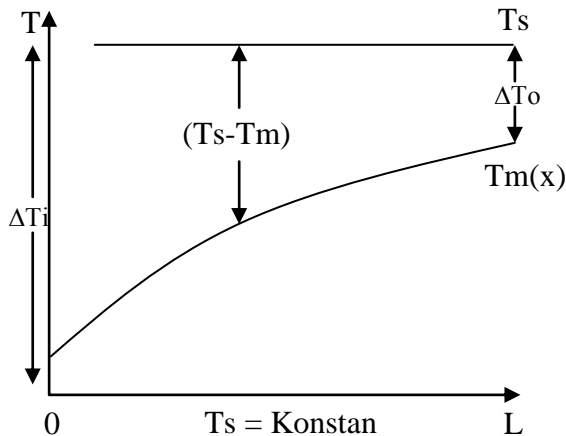
( $T_s = \text{konstan}$ ) (2.4)

Jika mengintegrasikan dari pipa masukan ke sembarang posisi pada arah aksial x pada pipa maka didapatkan hasil persamaan :

$$\frac{T_s - T_m(x)}{T_s - T_{m,i}} = \exp\left(-\frac{Px}{m C_p} \bar{h}\right)$$

( $T_s = \text{konstan}$ ) (2.5)

Dimana h adalah nilai rata-rata dari masukan pipa sampai ke posisi x. Hasil ini menyarankan bahwa perbedaan temperatur ( $T_s - T_m$ ) berkurang secara eksponensial dengan jarak memanjang sumbu pipa. Distribusi temperatur aksial permukaan aksial dan rata-rata ditunjukkan pada gambar di bawah :



Untuk menentukan laju perpindahan panas total,  $q_{konv}$  adalah :

$$q_{konv} = \dot{m} C_p \{ (T_s - T_{m,i}) - (T_s - T_{m,o}) \}$$

$$= \dot{m} C_p (\Delta T_i - \Delta T_o)$$

dan masukan untuk  $\dot{m} C_p$  dari persamaan (2.3) didapatkan

$$q_{konv} = h A_s \Delta T_{Im}$$

( $T_s = \text{konstan}$ ) (2.6)

dimana  $A_s$  adalah luas permukaan pipa ( $A_s = PL$ ) dan  $T_{Im}$  adalah perbedaan temperatur rata-rata log (*log mean temperatur difference*), yaitu :

$$\Delta T_{Im} = \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln(\Delta T_o / \Delta T_i)}$$

(2.7)

Dengan mengkombinasikan persamaan 1.2 dan persamaan 2.6 maka koefisien konveksi rata-rata yang diberikan adalah :

$$\bar{h} = \frac{\dot{m} C_p (T_{m,o} - T_{m,i})}{\pi DL \Delta T_{Im}}$$

(2.8)

**Daftar Pustaka**

Holman, J.P., E. Jasfi, *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta, 1988.

Muin, Syamsir A., *Pesawat-pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*, Rajawali, Jakarta, 1988.